



(11) **EP 1 035 445 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung: **31.01.2007 Patentblatt 2007/05** (51) Int Cl.: **G03F 7/20^(2006.01) G02B 17/06^(2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **99125783.3**

(22) Anmeldetag: **23.12.1999**

(54) **Mikrolithographie-Reduktionsobjektiveinrichtung sowie Projektionsbelichtungsanlage**
Microlithographic reduction objective and projection exposure apparatus
Objectif de réduction pour la microlithographie et appareil d' exposition par projection

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB NL

(30) Priorität: **15.02.1999 DE 19906001**
07.10.1999 DE 19948240

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.09.2000 Patentblatt 2000/37

(60) Teilanmeldung:
06025651.8

(73) Patentinhaber: **Carl Zeiss SMT AG**
73446 Oberkochen (DE)

(72) Erfinder: **Dinger, Udo, Dr.**
73447 Oberkochen (DE)

(74) Vertreter: **Sawodny, Michael-Wolfgang**
Adolf - Lüken - Höflich - Sawodny,
Dreiköniggasse 10
89073 Ulm (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 779 528 WO-A-99/57606
US-A- 5 686 728

- **JEWELL T E: "Optical system design issues in development of projection camera for EUV lithography" PROCEEDINGS OF THE SPIE, SPIE, BELLINGHAM, VA, US, Bd. 2437, 20. Februar 1995 (1995-02-20), Seiten 340-346, XP002112301**

EP 1 035 445 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Mikrolithographieobjektiv gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1, eine Projektionsbelichtungsanlage gemäß Anspruch 25 sowie ein Chipherstellungsverfahren gemäß Anspruch 28.

[0002] Die Lithographie mit Wellenlängen < 193 nm, insbesondere die EUV-Lithographie mit $\lambda = 11$ nm bzw. $\lambda = 13$ nm werden als mögliche Techniken zur Abbildungen von Strukturen < 130 nm, besonders bevorzugt < 100 nm diskutiert. Die Auflösung eines lithographischen Systems wird durch nachfolgende Gleichung beschrieben:

$$RES = k_1 \cdot \frac{\lambda}{NA}$$

wobei k_1 ein spezifischer Parameter des Lithographieprozesses, λ die Wellenlänge des einfallenden Lichtes und NA die bildseitige, numerische Apertur des Systems bezeichnet.

[0003] Für abbildende Systeme im EUV-Bereich stehen als optische Komponenten im wesentlichen reflektive Systeme mit Multilayer-Schichten zur Verfügung. Als Multilayer-Schichtsysteme finden bei $\lambda = 11$ nm bevorzugt Mo/Be-Systeme und bei $\lambda = 13$ nm Mo/Si-Systeme Verwendung.

[0004] Legt man eine numerische Apertur von 0,2 zugrunde, so erfordert die Abbildung von 50 nm-Strukturen mit 13 nm-Strahlung einen vergleichsweise einfachen Prozeß mit $k_1 = 0,77$. Mit $k_1 = 0,64$ wird bei 11 nm-Strahlung die Abbildung von 35 nm-Strukturen möglich.

[0005] Da die Reflektivität der eingesetzten Multilayer-Schichten nur im Bereich von ungefähr 70 % liegt, ist es bei den Projektionsobjektiven für die EUV-Mikrolithographie von ganz entscheidender Bedeutung, zum Erreichen einer ausreichenden Lichtstärke mit möglichst wenig optischen Komponenten im EUV-Projektionsobjektiv auszukommen.

[0006] Als besonders bevorzugt haben sich mit Blick auf eine hohe Lichtintensität und ausreichende Möglichkeiten zur Korrektur von Abbildungsfehlern bei NA = 0,20 Systeme mit sechs Spiegeln herausgestellt.

[0007] 6-Spiegel-Systeme für die Mikrolithographie sind aus den Druckschriften US-A-5686728 und EP 0779528 bzw. US 5815310 bekannt geworden.

[0008] Das Projektions-Lithographiesystem gemäß der US-A-5686728 zeigt ein Projektionsobjektiv mit sechs Spiegeln, wobei jede der reflektiven Spiegelflächen asphärisch ausgebildet ist. Die Spiegel sind entlang einer gemeinsamen optischen Achse so angeordnet, daß ein obskurationfreier Lichtweg erreicht wird.

[0009] Da das aus der US-A-5686728 bekannte Projektionsobjektiv nur für UV-Licht mit einer Wellenlänge von 100 - 300 nm eingesetzt wird, weisen die Spiegel dieses Projektionsobjektives eine sehr hohe Asphärizität von ungefähr ± 50 μm sowie sehr große Einfallswinkel von ca. 38° auf. Auch nach Abblenden auf NA = 0,2 verbleibt hier eine Asphärizität von 25 μm von Spitze zu Spitze bei kaum vermindertem Einfallswinkel. Derartige Asphärizitäten und Einfallswinkel sind im EUV-Bereich wegen der hohen Anforderungen an die Oberflächenqualität, Reflektivität der Spiegel nach heutigem Stand der Technik nicht praktikabel.

[0010] Ein weiterer Nachteil des aus der US-A-5686728 bekannt gewordenen Objektives, der einen Einsatz im Bereich von $\lambda < 100$ nm, insbesondere bei den Wellenlängen von 11 und 13 nm nicht mehr erlaubt, ist der sehr geringe Abstand zwischen dem Wafer und dem dem Wafer am nächsten liegenden Spiegel. Bei den aus der US-A-5686728 bekannt gewordenen Abständen von Wafer und wäfernächstem Spiegel können die Spiegel nur sehr dünn ausgebildet werden. Wegen der extremen Schicht-Spannungen in den Multilayer-Systemen für die angesprochenen Wellenlängen von 11 und 13 nm sind derartige Spiegel sehr instabil.

[0011] Aus der EP-A-0779528 ist ein Projektionsobjektiv mit sechs Spiegeln zum Einsatz in der EUV-Lithographie, insbesondere auch bei Wellenlängen von 13 nm und 11 nm, bekanntgeworden.

[0012] Auch dieses Projektionsobjektiv hat den Nachteil, daß mindestens zwei der insgesamt sechs Spiegel sehr hohe Asphärizitäten von 26 bzw. 18,5 μm aufweisen. Insbesondere ist aber auch bei der aus der EP-A-0779528 bekannten Anordnung der optische freie Arbeitsabstand zwischen wafernächstem Spiegel und Wafer derart gering, daß es entweder zu Instabilitäten oder aber einem mechanisch freien Arbeitsabstand, der negativ ist, kommt.

[0013] Aufgabe der Erfindung ist es somit, eine für die Lithographie mit kurzen Wellenlängen, vorzugsweise kleiner 100 nm, geeignete Projektionsobjektiveinrichtung anzugeben, die die zuvor erwähnten Nachteile des Standes der Technik nicht aufweist.

[0014] Erfindungsgemäss wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass bei einem Projektionsobjektiv mit einem Feldspiegel, einem ersten Subsystem mit zweitem bis viertem Spiegel und einem zweiten Subsystem mit fünften und sechstem Spiegel, wobei der Feldspiegel mit Abbildungsmaßstab $\beta > 0$ ein virtuelles Bild des Objektes erzeugt, welches durch das erste Subsystem mit Abbildungsmaßstab $\beta < 0$ reell in ein Zwischenbild abgebildet wird, und das zweite Subsystem das Zwischenbild in das reelle Systembild in der Waferebene abbildet, wobei der dem zu belichtenden Objekt vorzugsweise dem Wafer am nächsten kommenden Spiegel derart angeordnet ist, dass der bildseitige optische freie Arbeits-

abstand mindestens dem genutzten Durchmesser dieses wäfernächsten Spiegels entspricht und/oder der bildseitige optische freie Arbeitsabstand mindestens der Summe aus einem Drittel des genutzten Durchmessers dieses Spiegels und einer Länge, die zwischen 20 mm und 30 mm liegt, beträgt und/oder der bildseitige optische freie Arbeitsabstand mindestens 50 mm, vorzugsweise 60 mm beträgt.

[0015] In einer weitergebildeten Ausgestaltung der Erfindung ist die bildseitige numerische Apertur NA größer als 0,15, die Ringfeldbreite W am Wafer liegt im Bereich

$$1,0 \text{ mm} \leq W$$

und die Spitze-Spitze-Abweichung A der Asphären ist gegenüber der im Nutzbereich bestpassenden Sphäre auf allen Spiegeln durch

$$A \leq 19 \mu\text{m} - 102 \mu\text{m}(0,25 - NA) - 0,7 \frac{\mu\text{m}}{\text{mm}} (2 \text{ mm} - W)$$

beschränkt.

[0016] Besonders bevorzugt ist die Spitze-Spitze-Abweichung A der Asphären auf allen Spiegeln auf

$$A \leq 12 \mu\text{m} - 64 \mu\text{m}(0,25 - NA) - 0,3 \frac{\mu\text{m}}{\text{mm}} (2 \text{ mm} - W)$$

beschränkt.

[0017] In einer bevorzugten weitergebildeten Ausführungsform der Erfindung sind bei einer numerischen Apertur NA $\geq 0,15$ und einer waferseitigen Breite des Ringfeldes $W \geq 1 \text{ mm}$ die Einfallswinkel AOI relativ zur Flächennormalen aller Strahlen auf allen Spiegeln durch

$$AOI \leq 23^\circ - 35^\circ (0,25 - NA) - 0,2^\circ / \text{mm} (2 \text{ mm} - W)$$

beschränkt.

[0018] Auch Kombinationen der zuvor aufgeführten Einzelmaßnahmen zur Lösung der erfindungsgemäßen Aufgabe sind möglich; beispielsweise können in einer besonders bevorzugten Ausgestaltung alle drei Bedingungen erfüllt sein, d.h. der freie optische Arbeitsabstand mehr als 50 mm bei NA = 0,20 betragen, die Spitze-Spitze-Abweichung der Asphären sowie die Einfallswinkel im zuvor definierten Bereich liegen.

[0019] Die in dieser Schrift diskutierten Asphäritäten beziehen sich auf die Spitze-Spitze- bzw. peak to valley (PV)-Abweichung A der asphärischen Flächen gegenüber der im Nutzbereich bestpassenden Sphäre.

[0020] Diese werden in den Beispielen durch eine Sphäre approximiert, deren Mittelpunkt auf der Figurenachse des Spiegels liegt und die im Meridionalschnitt die Asphäre im oberen und unteren Endpunkt des Nutzbereiches schneidet.

[0021] Die Angaben zu den Einfallswinkeln beziehen sich jeweils auf den Winkel zwischen jeweiligem einfallendem Strahl und Flächennormale am Einfallsort. Angegeben ist jeweils der größte Winkel irgendeines Strahles, im allgemeinen eines bündelbegrenzenden Strahles, der an irgendeinem der Spiegel auftritt.

[0022] Unter genutztem Durchmesser sei hier und im weiteren der Hüllkreisdurchmesser des im allgemeinen nicht kreisförmigen Nutzbereiches verstanden.

[0023] Besonders bevorzugt beträgt der waferseitige optische freie Arbeitsabstand 60 mm.

[0024] Die zuvor beschriebenen Objektive können nicht nur im EUV eingesetzt werden, sondern selbstverständlich auch bei anderen Wellenlängen, ohne daß von der Erfindung abgewichen wird.

[0025] Um Degradationen der Abbildungsgüte, beispielsweise aufgrund von Mittenabschattungen zu vermeiden, ist mit Vorteil vorgesehen, daß die Spiegel des Projektionsobjektives derart angeordnet sind, daß die Lichtführung obsku-

rationsfrei ist.

[0026] Um eine leichte Montage und Justage des Systems zu gewährleisten, ist mit Vorteil vorgesehen, daß in einer weitergebildeten Ausführungsform der Erfindung die Spiegelflächen auf zu einer Hauptachse (HA), rotationssymmetrischen Fläche ausgebildet sind.

5 **[0027]** Um ein kompaktes Design des Objektivs bei zugänglicher Blende zu erhalten, und einen obskurationsfreien Strahlengang zu realisieren, ist mit Vorteil vorgesehen, daß die Projektionsobjektiveinrichtung als System mit Zwischenbild ausgeführt ist. Besonders bevorzugt ist es, wenn das Zwischenbild nach dem vierten Spiegel ausgebildet wird. Bei derartigen Aufbauten ist es möglich, daß die Blende im vorderen, niederaperturigen Objektivteil zu liegen kommt und eine dazu konjugierte Pupillenebene in den Brennpunkt des letzten Spiegels abgebildet wird. Ein solcher Aufbau stellt
10 einen telezentrischen Strahlengang im Bildraum sicher.

[0028] In einer ersten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß die frei zugängliche Blende optisch und physikalisch zwischen zweitem und drittem Spiegel angeordnet ist.

[0029] Eine gute Zugänglichkeit der Blende ist dann gegeben, wenn der Abstand von erstem und drittem Spiegel zu erstem und zweitem Spiegel im Bereich
15

$$0,5 < \frac{S1S3}{S1S2} < 2$$

20 liegt. Um eine Abschattung des vom dritten zum vierten Spiegel laufenden Bündels durch die zwischen zweitem und drittem Spiegel angeordnete Blende zu verhindern, ist es von Vorteil, wenn das Verhältnis des Abstandes zwischen zweitem Spiegel und Blende zum Abstand von drittem Spiegel und Blende im Bereich

25

$$0,5 < \frac{S2 \text{ Blende}}{S3 \text{ Blende}} < 2$$

30 liegt. Durch einen gestreckten Aufbau, wie bei der ersten Ausführungsform der Erfindung realisiert, lassen sich auch die Winkelbelastungen im vorderen Teil des Projektionsobjektivs senken.

[0030] Eine physikalisch zwischen S2 und S1 liegende Blende muß zumindest partiell als schmaler Ring ausgebildet werden, um ein Beschneiden des von S1 nach S2 laufenden Bündels zu vermeiden. Bei einer derartigen Ausgestaltung besteht die Gefahr, daß unerwünschtes direktes oder an S1 und S2 reflektiertes Licht die Blende außerhalb dieses
35 Ringes passiert und den Wafer erreicht.

[0031] Setzt man die Blende optisch zwischen zweiten und dritten Spiegel und physikalisch nahe beim ersten Spiegel, so ist durch eine derartige mechanisch einfach zu realisierende Anordnung der Blende ein effizienteres Ausblenden dieser unerwünschten Strahlen möglich. Die Blende kann sowohl als Öffnung im ersten Spiegel oder hinter dem ersten Spiegel liegend ausgeführt werden.

40 **[0032]** In einer dritten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, die Blende auf oder nahe beim zweiten Spiegel anzuordnen. Eine Anordnung der Blende auf dem Spiegel hat den Vorteil, daß sie mechanisch einfach zu realisieren ist.

[0033] Hier ist es zur Sicherstellung eines obskurationsfreien Strahlenganges bei gleichzeitig kleinen Einfallswinkeln von Vorteil, wenn
45

$$0,3 \leq \frac{S1S3}{S1S2} \leq 2,0$$

50 und

55

$$0,7 \leq \frac{S2S3}{S3S4} \leq 1,4$$

gilt.

[0034] Um die nötigen Korrekturen der Abbildungsfehler in den 6-Spiegelsystemen vornehmen zu können, sind in einer bevorzugten Ausführungsform sämtliche sechs Spiegel asphärisch ausgebildet.

[0035] Eine fertigungstechnische Vereinfachung wird erreicht, wenn in einer alternativen Ausführungsform vorgesehen ist, höchstens fünf Spiegel asphärisch auszubilden. Es ist dann möglich, einen Spiegel, vorzugsweise den größten Spiegel, hier in Gestalt des Quartärspiegels, sphärisch auszubilden.

[0036] Besonders bevorzugt ist eine Anordnung des zweiten bis sechsten Spiegels in der Reihenfolge konkav - konvex - konkav - konvex - konkav.

[0037] Um eine Auflösung von mindestens 50 nm zu erreichen, ist mit Vorteil vorgesehen, daß der Design-Anteil des rms-Wellenfrontanteils des Systems höchstens $0,07 \lambda$, bevorzugt $0,03 \lambda$ beträgt.

[0038] Vorteilhafterweise sind in den Beispielen der Erfindung die Objektive stets bildseitig telezentrisch ausgebildet.

[0039] Bei Projektionssystemen, die mit einer Reflektionsmaske betrieben werden, ist ein telezentrischer Strahlengang ohne Beleuchtung über einen stark transmissionsmindernden Strahlteiler, wie beispielsweise aus der JP-A-95 28 31 16 bekannt, objektseitig nicht möglich. Daher sind die Hauptstrahlwinkel am Retikel so gewählt, daß eine abschattungs-freie Beleuchtung gewährleistet ist.

[0040] Bei Systemen mit Transmissionsmaske kann vorgesehen sein, daß das Projektionsobjektiv objektseitig tele-zentrisch ausgelegt ist. Bei derartigen Ausführungsformen ist der erste Spiegel vorzugsweise konkav ausgebildet.

[0041] Im gesamten sollte der Telezentriefehler am Wafer 10 mrad nicht überschreiten, vorzugsweise liegt er bei 5 mrad, besonders bevorzugt bei 2 mrad. Dies stellt sicher, daß sich die Änderung des Abbildungsmaßstabes über den Tiefenschärfenbereich in tolerierbaren Grenzen hält.

[0042] In den Ausführungsformen der Erfindung ist vorgesehen, daß diese einen Feldspiegel, ein verkleinerndes Drei-Spiegel-Subsystem und ein Zwei-Spiegel-Subsystem umfaßt.

[0043] Neben der erfindungsgemäßen Projektionsobjektiveinrichtung stellt die Erfindung auch eine Projektionsbelich-tungsanlage, umfassend mindestens eine derartige Einrichtung, zur Verfügung. In einer ersten Ausführungsform weist die Projektionsbelichtungsanlage eine Reflektionsmaske auf, in einer alternativen Ausführungsform eine Transmissi-onsmaske.

[0044] Besonders bevorzugt ist es, wenn die Projektionsbelichtungsanlage eine Beleuchtungseinrichtung zur Be-leuchtung eines außeroxialen Ringfeldes umfaßt und das System als Ringfeldsscanner ausgebildet ist. Mit Vorteil ist vorgesehen, daß die Sekantenlänge des Scan-Schlitzes mindestens 26 mm beträgt und die Ringbreite größer als 0,5 mm ist, so daß eine homogene Beleuchtung ermöglicht wird.

[0045] Die Erfindung soll nachfolgend anhand der Zeichnungen beispielhaft beschrieben werden.

[0046] Es zeigen:

Figur 1: Ein erstes erfindungsgemäßes System mit Zwischenbild und frei zugänglicher Blende zwischen zwei-tem und drittem Spiegel und numerischer Apertur von 0,2.

Figur 2: Eine 6-Spiegelanordnung für Wellenlängen > 100 nm wie aus dem Stand der Technik in Form der US-A-5686728 bekannt ist.

Figur 3: Eine zweite erfindungsgemäße Ausführungsform mit Blende zwischen zweitem und drittem Spiegel, die auf dem ersten Spiegel zu liegen kommt.

Figur 4: Eine dritte Ausführungsform der Erfindung mit Blende auf dem zweiten Spiegel und Arbeitsabstand 59 mm.

Figur 5: Eine vierte Ausführungsform der Erfindung eines Systems mit Zwischenbild, einer numerischen Apertur NA von 0,28 sowie einem bildseitigen optischen freien Arbeitsabstand, der mindestens der Summe aus einem Drittel des genutzten Durchmessers des wafernächsten Spiegels und einer Länge, die zwischen 20 und 30 mm liegt, entspricht.

Figur 6: Eine fünfte Ausführungsform der Erfindung eines Systems mit Zwischenbild und einer numerischen Apertur NA von 0,30.

Figur 7A - 7B: Definition des genutzten Durchmessers bei unterschiedlich ausgeleuchteten Lichtfeldern.

[0047] In den nachfolgenden Figuren 1 sowie 3 bis 4 sind Anordnungen von erfindungsgemäßen 6-Spiegel-Projektionsobjektiven gezeigt, die einen freien optischen Arbeitsabstand, der mindestens dem genutzten Durchmesser des wafernächsten Spiegels entspricht, aufweisen.

[0048] Figur 2 zeigt demgegenüber ein System gemäß dem Stand der Technik für Wellenlängen > 100 nm, wie

beispielsweise aus der US-A-5686728 bekannt.

[0049] In sämtlichen Ausführungsformen werden nachfolgend für gleiche Bauelemente gleiche Bezugsziffern verwendet, wobei nachfolgende Nomenklatur verwendet wurde:

- 5 - erster Spiegel (S1), zweiter Spiegel (S2)
- dritter Spiegel (S3), vierter Spiegel (S4)
- fünfter Spiegel (S5), sechster Spiegel (S6).

[0050] In Figur 1 ist ein 6-Spiegel-Projektionsobjektiv gemäß der Erfindung mit Strahlengang von der Retikelebene 2 bis zur Waferenebene 4 dargestellt. Die dargestellte spezielle Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Systems kann aufgefaßt werden als Hintereinanderschaltung

- 15 - eines Feldspiegels S1, der mit Abbildungsmaßstab $\beta > 0$ ein virtuelles Bild eines Objektes erzeugt,
- eines aus S2, S3 und S4 gebildeten 3-Spiegelsystems, welches eine reelle, verkleinerte Abbildung des von S1 erzeugten virtuellen Bildes des Objektes in das System-Zwischenbild Z bewirkt und
- 20 - eines 2-Spiegelsystems S5, S6, welches das Zwischenbild Z unter Einhaltung der Telezentrienanforderungen in die Waferenebene 4 abbildet.

[0051] Die Aberrationen der Subsysteme sind dabei so gegeneinander ausbalanciert, daß das Gesamtsystem eine für die Anwendung hinreichende Güte besitzt.

[0052] Die physikalische Blende B ist zwischen zweitem Spiegel S2 und drittem Spiegel S3 angeordnet. Wie deutlich aus Figur 1 hervorgeht, liegt die Blende zugänglich im Strahlengang zwischen zweitem Spiegel S2 und drittem Spiegel S3.

[0053] Beim System gemäß Figur 1 ist der optische Arbeitsabstand zwischen dem wafernächsten Spiegel, das ist in vorliegendem Ausführungsbeispiel der fünfte Spiegel S5, und der Waferenebene 4 größer als der genutzte Durchmesser des Spiegels S5, d.h. es ist nachfolgende Bedingung erfüllt:

optischer Abstand S5 zur Waferenebene 4 > genutzter Durchmesser S5.

[0054] Auch andere Abstandsbedingungen sind alternativ möglich, beispielsweise daß der optische Arbeitsabstand größer als die Summe aus ein Drittel des genutzten Durchmessers des wafernächsten Spiegels S5 plus 20 mm oder mehr als 50 mm ist.

[0055] Im vorliegenden Ausführungsbeispiel beträgt der freie optische Arbeitsabstand 60 mm, ohne hierauf beschränkt zu sein.

[0056] Ein derartiger optischer Arbeitsabstand garantiert einen ausreichend freien mechanischen Arbeitsabstand, der größer als 0 ist sowie die Verwendung von optischen Komponenten mit ausreichenden Festigkeitseigenschaften für Wellenlängen < 100 nm, vorzugsweise von 11 bzw. 13 nm.

[0057] Die optischen Komponenten umfassen für eine Wellenlänge $\lambda = 13$ nm und $\lambda = 11$ nm beispielsweise Mo/Si- bzw. Mo/Be-Multilayer-Schichtsysteme, wobei typische Multilayer-Schichtsysteme für $\lambda = 13$ nm 40 Mo/Si-Schichtpaare und für $\lambda = 11$ nm taugliche Mo/Be-Systeme ungefähr 70 Schichtpaare aufweisen. Die erreichbaren Reflektivitäten der Systeme liegen im Bereich von ungefähr 70 %. In den Multilayer-Schichtsystemen können Schichtspannungen von 350 MPa und mehr auftreten, die Oberflächendeformation, insbesondere in den Randbereichen der Spiegel induzieren.

[0058] Die erfindungsgemäßen Systeme, wie beispielsweise in Figur 1 dargestellt, besitzen gemäß

$$RES = \frac{k_1 \lambda}{NA}$$

eine nominelle Auflösung von mindestens 50 nm bzw. 35 nm bei einer minimalen numerischen Apertur von $NA = 0,2$ bei $k_1 = 0,77$ und $\lambda = 13$ nm bzw. $k_1 = 0,64$ und $\lambda = 11$ nm, wobei k_1 ein Lithographieprozeß-spezifischer Parameter ist.

[0059] Des weiteren ist der Strahlengang des in Fig. 1 dargestellten Objektivs obskurationsfrei. Um beispielsweise Bildformate von 26×34 mm² bzw. 26×52 mm² bereitzustellen, werden die erfindungsgemäßen Projektionsobjektive vorzugsweise in Ringfeld-Scan-Projektionsbelichtungsanlagen verwendet, wobei die Sekantenlänge des Scan-Schlitzes mindestens 26 mm beträgt.

[0060] Je nach verwandter Maske in der Projektionsbelichtungsanlage, hier sind Transmissionsmasken z.B. Stencil-

masken oder auch Reflektionsmasken denkbar, kann das bildseitig telezentrische System objektseitig telezentrisch oder nicht telezentrisch ausgebildet werden, wobei ein telezentrischer Strahlengang objektseitig bei Verwendung einer Reflektionsmaske nur unter Verwendung eines transmissionsmindernden Strahlenteilers möglich ist. Unebenheiten der Maske führen bei nicht telezentrischem Strahlengang im Objektraum zu Maßstabsfehlern in der Abbildung. Die Hauptstrahlwinkel am Retikel liegen daher vorzugsweise unter 10° , damit die Anforderungen an die Retikelebenheit im Bereich des technologisch realisierbaren liegen.

[0061] Das erfindungsgemäße System gemäß Figur 1 weist einen bildseitigen Telezentriefehler am Wafer von 1 mrad bei einer numerischen Apertur von 0,2 auf.

[0062] Aufgrund der hohen bildseitigen Telezentrie liegt die Eintrittspupille des letzten Spiegel S6 in oder nahe seines Brennpunktes. Bei den erfindungsgemäßen Systemen mit Zwischenbild kommt die Blende dann im vorderen, niedera-perturigen Objektivteil vorwiegend zwischen dem ersten und dritten Spiegel S1, S3 zum Liegen und die dazu konjugierte Pupillenebene wird in den Fokus des letzten Spiegels abgebildet.

[0063] In der dargestellten Ausführungsform sind sämtliche Spiegel S1 - S6 asphärisch ausgeführt, wobei die maximale Asphärität im Nutzbereich bei $7,3 \mu\text{m}$ liegt. Die niedrige Asphärität der erfindungsgemäßen Anordnung ist insbesondere aus fertigungstechnischer Sicht vorteilhaft, da die technologischen Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der Oberflächen der Multilayer-Spiegel mit der asphärischen Abweichung und wachsendem Gradienten der Asphäre überproportional stark ansteigen.

[0064] Der große Einfallswinkel in der Anordnung gemäß Figur 1 tritt an S5 auf und beträgt $18,4^\circ$. An Spiegel S5 tritt auch die maximale Einfallswinkelvariation von ca. $14,7^\circ$ über den Spiegel hinweg auf. Der Wellenfrontfehler der Anordnung gemäß Figur 1 bei $\lambda = 13 \text{ nm}$ ist besser als $0,032 \lambda$, die Schwerpunktverschiebung der Punktbilder ist $< 3 \text{ nm}$, die statische, maßstabskorrigierte Verzeichnung liegt bei 4 nm.

[0065] Die in der Ausführungsform gemäß Figur 1 zwischen zweitem und dritten Spiegel angeordnete Blende ist frei zugänglich. Eine freie Zugänglichkeit der Blende und eine Abschattung des von S3 nach S4 laufenden Bündels durch die Blende wird bei gleichzeitig akzeptablen Einfallswinkeln auf den Spiegeln verhindert, wenn in den dargestellten Anordnungen, nachfolgende Bedingung

$$0,5 < \frac{S1S3}{S1S2} < 2$$

und

$$0,5 < \frac{S2 \text{ Blende}}{S3 \text{ Blende}} < 2$$

erfüllt sind.

[0066] Hierbei bezeichnet die Kurzschreibweise S1S3 den mechanischen Abstand zwischen den einzelnen Komponenten, hier den Spiegeln S1 und S3.

[0067] Um die Einfallswinkel auf den Spiegeln zu vermindern ist in einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung gemäß Fig. 1 und Fig. 3-4 der Abstand vom Retikel zu S1 kleiner als der Abstand von S2 zu S3, d.h. es gilt:

$$\text{Retikel S1} < \text{S2S3}.$$

[0068] Für die mechanische Realisierung ist es besonders vorteilhaft, wenn das Retikel physikalisch hinreichend weit vor dem in Lichtrichtung ersten Spiegel - hier S2 - zu liegen kommt.

[0069] Vorliegend beträgt der Abstand Retikel S2 80 mm, ohne hierauf beschränkt zu sein.

[0070] Des weiteren ist bei der Ausführungsform der Erfindung gemäß den Figuren 1 sowie 3 bis 5 der Abstand zwischen den Spiegeln S3 und S6 so groß gewählt, daß die Spiegel hinreichend dick ausgebildet werden können, um bei den auftretenden hohen Schichtspannungen über die geforderten Festigkeitseigenschaften zu verfügen.

[0071] Besonders bevorzugt ist es, wenn nachfolgende Beziehung vorliegt:

0,3 (genutzter Durchmesser S3 + genutzter Durchmesser S6) < S3S6.

5 **[0072]** Aus der nachfolgenden Tabelle gehen in Code V-Nomenklatur die Parameter der beispielhaft in Figur 1 dargestellten Systeme hervor. Bei dem Objektiv handelt es sich um 5x-System mit einem 26 x 2 mm² Ringfeld und einer numerischen Apertur von 0,2. Der mittlere bildseitige Radius des Systems beträgt dabei ungefähr 26 mm.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Tabelle 1:

Element Nummer	Radius	Dicke	Durchmesser	Art
Objekt	INF	80.9127	258.1723	
S1	A(1)	413.0257 -88.8251 -324.2006	197.5712 195.6194 188.6170	REFL
S2	A(2)	0.0000 324.2006 AperturBlende 423.6214	188.7078 67.1796 183.2180	REFL
S3	A(3)	0.0000 -423.6214	184.7062 519.0546	REFL
S4	A(4)	-74.9270 498.5484 109.8242	541.0453 248.6244 177.5488	REFL
S5	A(5)	281.5288	65.0842	REFL
S6	A(6)	-281.5288 281.5288	187.9549 78.3999	REFL
Bild	Bildweite	59.9202	53.9889	
Asphärische Konstanten:				

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

(fortgesetzt)

Element Nummer	Radius	Dicke	Durchmesser	Art
$Z = \frac{(CURV) Y^2}{1 + (1 - (1 + K) (CURV)^2 Y^2)^{1/2}} + (A) Y^4 + (B) Y^6 + (C) Y^8 + (D) Y^{10}$				

Asphäre	CURV	K	A	B	C	D
A(1)	0.00031800	-27.686599	0.00000E+00	1.32694E-15	2.00546E-20	-8.49471E-25
A(2)	0.00094928	-3.998204	0.00000E+00	4.03849E-15	-6.15047E-20	2.73303E-25
A(3)	0.00126752	0.424198	0.00000E+00	1.58766E-15	-8.27965E-20	2.80328E-24
A(4)	0.00123850	0.023155	0.00000E+00	2.46048E-17	-1.08266E-22	3.75259E-28
A(5)	0.00329892	2.902916	0.00000E+00	1.55628E-12	-6.71619E-17	-5.30379E-21
A(6)	0.00277563	0.072942	0.00000E+00	2.96285E-16	3.99125E-21	4.55007E-26
Referenz Wellenlänge = 13 nm						

[0073] In Figur 2 ist eine Anordnung eines Projektionsobjektives für die Mikrolithographie mit Wellenlänge $\lambda < 100$ nm gemäß der US-A-5686728 gezeigt. Gleiche Bauteile wie in Figur 1 sind mit denselben Bezugsziffern belegt.

[0074] Wie deutlich zu erkennen, ist der Abstand zwischen dem wafernächsten Spiegel S5 und dem Wafer wesentlich geringer als der Durchmesser des Spiegels und liegt vorliegend im Bereich von ungefähr 20 mm, was im EUV-Bereich aufgrund der extremen Schichtspannungen zu Festigkeitsproblemen führt.

[0075] Des weiteren weist das System gemäß dem Stand der Technik sehr hohe Asphäritäten von +/- 50 μm und Einfallswinkel von 38° auf. Derartige Asphäritäten und Einfallswinkel sind im EUV-Bereich unter dem Blickwinkel der Fertigungs- und Beschichtungstechnologie nicht realisierbar.

[0076] In Figur 3 ist eine alternative Ausführungsform eines erfindungsgemäßen 6-Spiegelsystems dargestellt, bei dem die Blende auf dem ersten Spiegel liegt. Gleiche Bauteile wie in Figur 1 werden wiederum mit denselben Bezugsziffern belegt.

[0077] Der optische freie Arbeitsabstand am Wafer beträgt auch bei dieser Ausführungsform wie schon bei der Ausführungsform gemäß Figur 1 60 mm und ist somit größer als der Durchmesser des wafernächsten Spiegels S5. Wie bei der Ausführungsform gemäß Figur 1 ist auch bei dem Design gemäß Figur 3 der Abstand zwischen S2 und S3 gegenüber dem Stand der Technik in Form der US-A-5686728 wesentlich erhöht worden, so daß große Inzidenzwinkel im System vermindert werden.

[0078] Im Unterschied zu der Ausgestaltung gemäß Figur 1 ist in Figur 3 die Blende B physikalisch auf den Primärspiegel gelegt. Durch diese Position wird eine sehr effiziente Abschaltung von an S2 reflektiertem Licht möglich, das bei einer physikalischen Blendenposition zwischen S1 und S2 leicht oberhalb der als schmalen Ring auszubildenden Blende passieren könnte. Bei dem in Figur 3 dargestellten Ausführungsbeispiel kann die Blende entweder als Öffnung im S1-Mutterspiegel oder hinter S1 liegend realisiert werden.

[0079] Ein weiterer Vorteil der Lösung gemäß Figur 3 ist die sphärische Ausbildung des Spiegels S4, die insbesondere unter Fertigungsaspekten einen besonderen Vorteil darstellt, da der Spiegel S4 der größte Spiegel des Systems ist. Gegenüber der Ausführungsform gemäß Figur 1 ist bei der Ausgestaltung gemäß Figur 3 die Asphärität im Nutzbereich leicht erhöht und liegt bei 10,5 μm . Der größte Einfallswinkel tritt wie bei der Ausführungsform gemäß Figur 1 an Spiegel S5 auf und beträgt ca. $18,6^\circ$. Der Wellenfrontfehler der Anordnung gemäß Figur 3 beträgt 0,032 λ , innerhalb des 1,7 mm breiten Ringfeldes bei $\lambda = 13$ nm. Bildet man den Spiegel S4 bei der Ausgestaltung gemäß Figur 3 leicht asphärisch aus mit 0,4 μm , so kann der Wellenfrontfehler auf 0,031 λ innerhalb eines 1,8 mm breiten Ringfeldes bei $\lambda = 13$ nm gehalten werden. Eine effiziente Ausblendung unerwünschten Lichtes erhält man nicht nur, wenn man die Blende direkt auf dem Spiegel S1 ausbildet, sondern auch dann, wenn man sie dem Spiegel S1 nachordnet. Eine besonders bevorzugte Baubedingung für eine derartige Blende ist:

$$S2S1 \leq 0,9 \times S2\text{-Blende.}$$

[0080] In Tabelle 2 sind die Konstruktionsdaten des 5x Objektives gemäß Figur 3 in Code V-Nomenklatur dargestellt, wobei der vierte Spiegel S4 sphärisch ausgebildet ist. Der mittlere Radius des 26 x 1,7 mm² - Bildfeldes beträgt wiederum 26 mm.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Tabelle 2:

Element Nummer	Radius	Dicke	Durchmesser	Art
Objekt	INF	85.2401	256.1389	
S1	A(1)	358.4668 0.0024	203.8941 203.8845	REFL
S2	A(2)	0.0000 358.4691 AperturBlende 390.5456	201.9942 60.7572	REFL
S3	A(3)	0.0000 -390.5456	187.2498 188.9474 505.8686	REFL
S4	A(4)	-104.1273 494.6729	550.3686 256.9217	REFL
S5	A(5)	114.3062	181.7337	
S6	A(6)	281.6969 -281.6969 281.6969	64.4286 187.8549 78.1545	REFL REFL
Bild	Bildweite	60.0041	53.6996	
Asphärische Konstanten:				

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

(fortgesetzt)

Element Nummer	Radius	Dicke	Durchmesser	Art
$Z = \frac{(CURM) Y^2}{1 + (1 - (1 + K) (CURM)^2 Y^2)^{1/2}} + (A) Y^4 + (B) Y^6 + (C) Y^8 + (D) Y^{10}$				

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Asphäre	CURV	K	A	B	C	D
A(1)	000035280	-58.238840	0.00000E+00	2.14093E-15	2.29498E-20	0.00000E+00
A(2)	0.00097971	-4.160335	0.00000E+00	1.54696E-15	8.15622E-21	0.00000E+00
A(3)	0.00117863	-2.136423	0.00000E+00	-1.78563E-16	3.45455E-20	0.00000E+00
A(4)	0.00124362	0.000000	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(5)	0.00338832	2.909987	0.00000E+00	7.90123E-13	7.04899E-17	0.00000E+00
A(6)	0.00278660	0.062534	0.00000E+00	2.79526E-16	7.00741E-21	0.00000E+00
Referenz Wellenlänge = 13 nm						

EP 1 035 445 B1

[0081] In Figur 4 ist eine weitere Ausführungsform der Erfindung gezeigt, wobei wiederum für gleiche Bauteile dieselben Bezugsziffern wie in den vorausgegangenen Figuren verwendet wurden.

[0082] Bei der Ausführungsform gemäß Figur 4 wurde die Blende B optisch und physikalisch auf den Sekundärspiegel bzw. zweiten Spiegel S2 gelegt.

5 **[0083]** Die Anordnung der Blende direkt auf dem Spiegel hat den Vorteil, daß diese Blende auf einem Spiegel sich mechanisch einfacher realisieren läßt.

[0084] Mit dem in Figur 4 dargestellten 4x Aufbau läßt sich innerhalb eines 2 mm breiten Ringfeldes ein Wellenfrontfehler bei $\lambda = 13 \text{ nm}$ von $0,021 \lambda$ realisieren. Die maximale Asphärität im Nutzbereich liegt bei $11,2 \mu\text{m}$, der größte an S5 auftretende Einfallswinkel beträgt $18,3^\circ$. Der mittlere Bildfeldradius beträgt wiederum 26 mm.

10 **[0085]** Erfindungsgemäß ist der optische freie Arbeitsabstand zwischen Wafer und wafernächstem Spiegel S5 erfindungsgemäß größer als der Durchmesser des wafernächsten Spiegels S5 und liegt in vorliegender Ausführungsform bei ca. 59 mm.

[0086] In Tabelle 3 sind die optischen Parameter in Code V-Nomenklatur der in Figur 4 dargestellten Ausführungsform der Erfindung aufgeführt.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Tabelle 3:

Element Nummer	Radius	Dicke	Durchmesser	Art
Objekt	INF	84.0595	205.6642	
S1	A(1)	473.5521 -145.8261	147.3830 136.4700	REFL
S2	A(2)	-327.7260 AperturBlende 0.0000 473.5521	112.0176 112.1228 163.5236	REFL
S3	A(3)	190.4830 0.0000 -190.4830	184.4783 185.3828 358.6720	REFL
S4	A(4)	-399.1713 589.6560	654.5228 310.1977	REFL
S5	A(5)	207.5220	175.3066	
S6	A(6)	276.2668 -276.2668 276.2668	65.2138 182.8159 77.5085	REFL REFL
Bild	Bildweite	59.0000	53.9968	
Asphärische Konstanten:				

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

(fortgesetzt)

Element Nummer	Radius	Dicke	Durchmesser	Art
	$Z = \frac{(CURV) Y^2}{1 + (1 - (1 + K) (CURV)^2 Y^2)^{1/2}} + (A) Y^4 + (B) Y^6 + (C) Y^8 + (D) Y^{10}$			

EP 1 035 445 B1

Asphäre	CURV	K	A	B	C	D
A(1)	0.00015851	441.008070	0.00000E+00	-3.49916E-16	1.27478E-19	-3.37021E-25
A(2)	0.00089932	-5.032907	0.00000E+00	-6.95852E-15	-7.53236E-20	-2.74751E-24
A(3)	0.00188578	0.913039	0.00000E+00	-1.60100E-15	-9.53850E-20	1.30729E-26
A(4)	0.00108147	0.038602	0.00000E+00	2.48925E-18	-5.29046E-24	-4.37117E-31
A(5)	0.00269068	7.253316	0.00000E+00	-5.70008E-13	-9.32236E-17	-6.09046E-21
A(6)	0.00281036	0.150957	0.00000E+00	1.30822E-15	1.86627E-20	5.08158E-25
Referenz Wellenlänge = 13 nm						

15 **[0087]** Figur 5 zeigt eine Ausführungsform der Erfindung, die einen Feldspiegel S1, ein erstes Subsystem mit zweitem bis viertem Spiegel S2 - S4 und ein zweites Subsystem mit fünftem und sechstem Spiegel S5, S6 umfaßt. Der Feldspiegel S1 mit $\beta > 0$ erzeugt ein virtuelles Bild des Objektes 2, welches durch das aus zweitem, drittem und viertem Spiegel S2, S3, S4 gebildeten erste Subsystem mit $\beta < 0$ reell in das Zwischenbild Z abgebildet wird, wobei das aus fünftem und sechstem Spiegel S5, S6 gebildete zweite Subsystem das Zwischenbild Z in das reelle Systembild der Waferebene 4 abbildet. Die numerische Apertur des Systems beträgt $NA = 0,28$. Der Arbeitsabstand zwischen letztem Spiegel S5 und der Waferebene entspricht mindestens der Summe aus einem Drittel des genutzten Durchmessers des wafernächsten Spiegels und einer Länge, die zwischen 20 und 30 mm liegt. Die Blende B kommt auf dem zweiten Spiegel S2 zum Liegen.

20 **[0088]** In Tabelle 4 sind die optischen Parameter der Ausführungsform gemäß Figur 5 in Code V-Nomenklatur aufgeführt.

30

35

40

45

50

55

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Tabelle 4:

Element Nummer	Radius	Dicke	Durchmesser	Art
Objekt	INF	151.2625	194.7605	
S1	A(1)	229.0820 -39.4068	162.9862 147.1426	REFL
S2	A(2)	-189.6752 Blende 0.0000 229.0820	65.0637 65.1650 168.3504	REFL
S3	A(3)	137.5708 0.0000 -137.5708	230.5128 234.0072 386.2567	REFL
S4	A(4)	-300.3445 437.9153	630.7784 343.1578	REFL
S5	A(5)	133.0981	257.0225	
S6	A(6)	353.0840 -353.0840 353.0840	79.9521 264.2853 78.6376	REFL REFL
Bild	Bildweite	44.0000	54.0051	
Asphärische Konstanten:				

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

(fortgesetzt)

Element Nummer	Radius	Dicke	Durchmesser	Art
	$Z = \frac{(CURM) Y^2}{1 + (1 - (1 + K) (CURM)^2 Y^A)^{1/2}} + (A) Y^4 + (B) Y^6 + (C) Y^8 + (D) Y^{10} + (E) Y^{12} + (F) Y^{14} + (G) Y^{16} + (H) Y^{18} + (J) Y^{20}$			

EP 1 035 445 B1

Asph.	CURV	K E	A F	B G	C H	D J	
5	A(1)	0.00080028	0.000000	-3.35378E-09	5.36841E-14	-7.86902E-19	-5.07886E-24
		0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
	A(2)	0.00040002	0.000000	1.68187E-08	2.05570E-12	2.42710E-16	5.69764E-20
		0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
10	A(3)	0.00113964	-2.760663	0.00000E+00	-3.55779E-15	1.03881E-19	-3.64996E-24
		0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
	A(4)	0.00128753	0.019273	0.00000E+00	5.82746E-18	-1.77496E-22	1.64954E-27
		-6.20361E-33	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
	A(5)	0.00373007	11.6888968	0.000000E+00	-5.53902E-12	-4.32712E-16	-1.54425E-19
15		0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
	A(6)	0.00240387	-0.002567	0.00000E+00	-6.78955E-16	-8.39621E-21	-2.95854E-2
		0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
	Referenz Wellenlänge = 13 nm						

20 **[0089]** In Figur 6 ist eine zweite Ausführungsform eines 6-Spiegel-Objektives mit Feldspiegel S1, erstem und zweitem Subsystem sowie Zwischenbild Z gezeigt. Die numerische Apertur NA dieses Systems liegt bei $NA = 0,30$; die Blende B wird wie bei der Ausführungsform gemäß Figur 5 auf dem zweiten Spiegel S2 ausgebildet.

25 **[0090]** Die optischen Parameter der Ausführungsform gemäß Figur 6 sind in Tabelle 5 in Code V-Nomenklatur aufgeführt.

30

35

40

45

50

55

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Tabella 5:

Element Nummer	Radius	Dicke	Durchmesser	Art
Objekt	INF	103.2808	197.1874	
S1	A(1)	219.3042 -39.2890	157.6222 142.1492	REFL
S2	A(2)	-180.0152 Blende 0.0000 219.3042	67.2659 67.4347 167.6895	REFL
S3	A(3)	131.2051 0.0000 -131.2051	228.0182 232.3162 401.4441	REFL
S4	A(4)	-247.5850 378.7901	613.5493 355.7774	REFL
S5	A(5)	134.4001	268.3735	
S6	A(6)	348.5086 -348.5086 348.5086	81.5255 269.2435 75.4983	REFL REFL
Bild	Bildweite	36.1195	53.9942	
Asphärische Konstanten:				

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

(fortgesetzt)

Element Nummer	Radius	Dicke	Durchmesser	Art
$Z = \frac{(CURV) Y^2}{1 + (1 - K) (CURV)^2 Y^2} + (A) Y^4 + (B) Y^6 + (C) Y^8 + (D) Y^{10} + (E) Y^{12} + (F) Y^{14} + (G) Y^{16} + (H) Y^{18} + (J) Y^{20}$				

Asph.	CURV	K E	A B C F	B G	C H	D J
A(1)	0.00061615	0.000000	-5.19402E-09	1.09614E-13	-3.44621E-18	1.58573E-22
		-7.07209E-27	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(2)	0.00066911	0.000000	1.69112E-08	2.39908E-12	2.89763E-16	1.00572E-19
		1.84514E-29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(3)	0.00140031	0.000000	-8.71271E-10	-1.47622E-15	3.40869E-20	4.32196E-24
		-2.23484E-28	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(4)	0.00143731	0.000000	2.18165E-12	2.65405E-17	-2.01757E-22	1.14856E-28
		1.49857E-32	-8.61043E-38	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(5)	0.00378996	0.000000	8.54406E-08	2.25929E-12	3.36372E-16	1.92565E-20
		5.75469E-24	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(6)	0.00246680	0.000000	-3.61754E-12	-8.29704E-16	-1.53440E-20	-2.24433E-25
		5.91279E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Referenz Wellenlänge = 13 nm						

[0091] Die Figuren 7A und 7B verdeutlichen nochmals was in der vorliegenden Anmeldung unter dem genutzten Durchmesser D zu verstehen ist.

[0092] Beispielhaft sei das ausgeleuchtete Feld 100 auf einem Spiegel in Figur 7A ein Rechteckfeld. Der genutzte Durchmesser D ist dann der Durchmesser des Hüllkreises 102, der das Rechteck 100 umschließt, wobei die Ecken 104 des Rechteckes 100 auf den Hüllkreis 102 zu liegen kommen.

[0093] In Figur 7B ist ein zweites Beispiel dargestellt. Das ausgeleuchtete Feld 100 weist eine Nierenform auf, wie für den Nutzbereich bei Verwendung der erfindungsgemäßen Objektiv in einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage erwartet. Der Hüllkreis 102 umschließt die Nierenform völlig und fällt an zwei Punkten 106, 108 mit dem Rand 110 der Nierenform zusammen. Der genutzte Durchmesser D ergibt sich dann aus dem Durchmesser des Hüllkreises 102.

[0094] Mit der Erfindung wird somit erstmals ein 6-Spiegel-Projektionsobjektiv mit einem Abbildungsmaßstab von vorzugsweise 4x, 5x sowie 6x für den bevorzugten Einsatz in einem EUV-Ringfeldprojektdonssystem angegeben, das sowohl die notwendige Auflösung bei gefordertem Bildfeld wie auch Konstruktionsbedingungen aufweist, welche eine funktionsgerechte Bauausführung ermöglichen, da die Asphären hinreichend mild, die Winkel hinreichend klein für die Schichten und die Bauräume für die Spiegelträger hinreichend groß sind.

Patentansprüche

1. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung für Wellenlängen < 100nm mit einem Feldspiegel S1, einem ersten Subsystem mit zweitem bis viertem Spiegel (S2 - S4) und einem zweiten Subsystem mit fünftem und sechstem Spiegel (S5, S6), wobei der Feldspiegel mit Abbildungsmaßstab $\beta > 0$ ein virtuelles Bild des Objektes (2) erzeugt, welches durch das aus zweitem, drittem und viertem Spiegel (S2, S3, S4) gebildete erste Subsystem mit Abbildungsmaßstab $\beta < 0$ reell in ein Zwischenbild (Z) abgebildet wird, wobei das aus fünftem und sechstem Spiegel (S5, S6) gebildete zweite Subsystem das Zwischenbild in das reelle Systembild in der Waferenebene (4) abbildet, **dadurch gekennzeichnet, dass** der dem zu belichtenden Objekt vorzugsweise dem Wafer am nächsten kommenden Spiegel derart angeordnet ist, dass

- der bildseitige optische freie Arbeitsabstand mindestens dem genutzten Durchmesser D dieses wäfernächsten Spiegels entspricht und/oder
- der bildseitige optische freie Arbeitsabstand mindestens der Summe aus einem Drittel des genutzten Durchmessers D dieses Spiegels und einer Länge, die zwischen 20 mm und 30 mm liegt, beträgt und/oder
- der bildseitige optische freie Arbeitsabstand mindestens 50 mm, vorzugsweise 60 mm beträgt.

2. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**

EP 1 035 445 B1

die bildseitige numerische Apertur (NA) $\geq 0,15$ ist,
die bildseitige Breite des Ringfeldes $W \geq 1,0$ mm ist und
dass die Einfallswinkel (AOI) relativ zur Flächennormalen aller Strahlen auf allen Spiegeln durch

5

$$AOI \leq 23^\circ - 35^\circ (0,25 - NA) - 0,2^\circ / \text{mm} \cdot (2 \text{ mm} - W)$$

10

beschränkt sind.

3. Mikrolithographie-Projektionsobjektiv gemäß einem der Ansprüche 1 bis 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die bildseitige numerische Apertur NA im Bereich

15

$$0,15 \leq NA$$

20

und die Ringfeldbreite W am Wafer im Bereich

$$1,0 \text{ mm} \leq W$$

25

und daß die Spitze-Spitze-Abweichung (A) der Asphären gegenüber der im Nutzbereich bestpassenden Sphäre auf allen Spiegeln durch

30

$$A \leq 19 \mu\text{m} - 102 \mu\text{m} (0,25 - NA) - 0,7 \frac{\mu\text{m}}{\text{mm}} (2 \text{ mm} - W)$$

beschränkt ist.

35

4. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Spiegel derart angeordnet sind, dass die Lichtführung obskurationsfrei ist.

40

5. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Spiegelflächen auf zu einer Hauptachse (HA) rotationssymmetrischen Flächen angeordnet sind.

45

6. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass**
eine Blende (B) im Lichtweg bzw. Strahlengang zwischen zweitem (S2) und drittem Spiegel (S3) angeordnet ist.

50

7. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Abstände zwischen erstem, zweitem und drittem Spiegel derart gewählt werden, dass die Blende frei zugänglich ist.

55

8. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass**
der Abstand von erstem und drittem Spiegel (S1S3) zum Abstand von erstem und zweitem Spiegel (S1S2) im Bereich

$$0,5 < \frac{S1S3}{S1S2} < 2$$

liegt.

9. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
 die Blende (B) im Strahlengang zwischen zweitem (S2) und drittem Spiegel (S3) am Körper des ersten Spiegels (S1) angeordnet ist

10. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
 die bildseitige numerische Apertur $NA \geq 0,15$ und die Ringfeldbreite am Wafer $W \geq 1$ mm ist und
 dass die Spitze-Spitze-Abweichung (A) der Asphären gegenüber der im Nutzbereich bestpassenden Sphären auf
 allen Spiegeln durch

$$A \leq 12 \mu\text{m} - 64 \mu\text{m} (0,25 - NA) - 0,3 \frac{\mu\text{m}}{\text{mm}} (2 \text{ mm} - W)$$

beschränkt ist.

$$0,3 < \frac{S1S3}{S1S2} < 2$$

und der Abstand von zweitem und drittem Spiegel (S2S3) zum Abstand vom dritten und vierten Spiegel (S3S4) im
 Bereich

$$0,7 < \frac{S1S3}{S1S2} < 1,4$$

liegt.

11. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
 die Blende (B) auf oder nahe beim zweiten Spiegel (S2) angeordnet ist.

12. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass**
 der Abstand vom ersten und dritten Spiegel (S1S3) zum Abstand von erstem und zweitem Spiegel (S1S2) im Bereich

13. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
 sämtliche Spiegel sphärisch ausgebildet sind.

14. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
 höchstens fünf Spiegel sphärisch sind.

15. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14,
dadurch gekennzeichnet, dass
 der zweite bis sechste Spiegel (S2 - S6) in der Reihenfolge konkav-konvexkonkav-konvex-konkav ausgebildet ist.

16. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15,
dadurch gekennzeichnet, dass

der Abbildungsmaßstab des ersten Spiegels (S1) positiv ist, vorzugsweise $0,5 < \beta < 1,5$.

17. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 16,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Abbildungsmaßstab des aus zweitem (S2), drittem (S3) und viertem Spiegel (S4) gebildeten Subsystems negativ und verkleinernd ist und im Bereich $-0,5 > \beta > -1,0$ liegt.

18. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17,

dadurch gekennzeichnet, dass

der rms-Wellenfrontfehler des Systems höchstens $0,07 \lambda$, bevorzugt $0,03 \lambda$, über das gesamte Bildfeld beträgt.

19. Mikrolithographie-Projektionseinrichtung gemäß Anspruch 18,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Bildfeld mindestens 1,0 mm breit ist.

20. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19,

dadurch gekennzeichnet, dass

sie bildseitig telezentrisch ist.

21. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach Anspruch 20 **dadurch gekennzeichnet, dass**

sie objektseitig telezentrisch ist.

22. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 21,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Hauptstrahl am Objekt zur optischen Achse hinläuft.

23. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 22,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Spiegel mit der betragsmäßig kleinsten Brennweite nach dem Zwischenbild liegt.

24. Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 23,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Abstand von drittem und sechstem Spiegel (S3S6) nachfolgender Beziehung genügt:

$$0,3 (\text{genutzter Durchmesser } S3 + \text{genutzter Durchmesser } S6) < S3S6$$

25. Projektionsbelichtungsanlage mit einer Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung nach einem der Ansprüche

1 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, dass**

eine Reflektionsmaske vorgesehen ist.

26. Projektionsbelichtungsanlage mit einer Mikrolithographie-Projektionsobjektiveinrichtung gemäß einem der Ansprü-

che 1 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, dass**

eine Transmissionsmaske vorgesehen ist.

27. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 25 bis 26, **dadurch**

gekennzeichnet, dass

die Projektionsbelichtungsanlage eine Beleuchtungseinrichtung zur Beleuchtung eines Ringfeldes umfasst.

28. Verfahren zur Chipherstellung mit einer Projektionsbelichtungsanlage gemäß Anspruch 27.

Claims

1. Microlithography projection objective device for wavelengths $< 100 \text{ nm}$ with a field mirror S1, a first subsystem with second to fourth mirrors (S2-S4) and a second subsystem with fifth and sixth mirrors (S5, S6), whereby

the field mirror produces a virtual image of the object (2) with imaging ratio $\beta > 0$ which is then imaged by the first subsystem formed from the second, third and fourth mirrors (S2, S3, S4) with imaging ratio $\beta < 0$ into a real intermediate image (Z), whereby the second subsystem formed from the fifth and sixth mirrors (S5, S6) images the intermediate image into the real system image in the wafer plane (4), **characterised in that** the mirror next to the object to be exposed, preferably the wafer, is disposed in such a way that

- the image-side optical free working distance corresponds to at least the used diameter D of this mirror next to the wafer and/or
- the image-side optical free working distance is at least the sum of one-third of the used diameter D of this mirror and a length of between 20 mm and 30 mm and/or
- the image-side optical free working distance is at least 50 mm, preferably 60 mm.

2. Microlithography projection objective device according to claim 1, **characterised in that**

the image-side numerical aperture (NA) is ≥ 0.15 ,
 the image-side width of the ring field is ≥ 1.0 mm and
 that the angles of incidence (AOI) relative to the surface normal of all rays on all mirrors are limited by

$$AOI \leq 23^\circ - 35^\circ (0.25 - NA)^{-0.2} /_{mm} \cdot (2 \text{ mm} - W).$$

3. Microlithography projection objective according to one of claims 1 to 2, **characterised in that**

the image-side numerical aperture NA is limited in the range

$$0.15 \leq NA$$

and the ring field width is within the range

$$1.0 \text{ mm} \leq W$$

and that the peak-peak deviation (A) of the aspheres is limited with respect to the fitting sphere in the used region of all mirrors by

$$A \leq 19 \mu\text{m} - 102 \mu\text{m} (0.25 - NA) - 0.7 \frac{\mu\text{m}}{\text{mm}} (2\text{mm} - W)$$

4. Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 3, **characterised in that** the mirrors are disposed so that the light guidance is obscuration-free.

5. Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 4, **characterised in that** the mirror surfaces have a rotational symmetry with respect to a principal axis (HA).

6. Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 5, **characterised in that** an aperture stop (B) is disposed in the light path or ray path between the second (S2) and third mirror (S3).

7. Microlithography projection objective device according to claim 6, **characterised in that**

the distances between the first, second and third mirror is chosen so that the aperture stop is freely accessible.

8. Microlithography projection objective device according to claim 9,
characterised in that

the ratio of the distance between the first and second mirrors (S1S2) to the distance between the first and third mirrors (S1S3) lies within the range

$$0.5 < \frac{S1S3}{S1S2} < 2$$

9. Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 8,
characterised in that

the aperture stop (B) in the ray path between the second (S2) and third mirror (S3) is disposed on the body of the first mirror (S1).

10. Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 9,
characterised in that

the image-side numerical aperture $NA \geq 0.15$ and the ring field width on the wafer is $W \geq 1$ mm and that the peak-to-peak deviation (A) of the aspheres is limited with respect to the best fitting spheres in the used region on all mirrors by

$$A \leq 12 \mu m - 64 \mu m (0.25 - NA) - 0.3 \frac{\mu m}{mm} (2mm - W).$$

11. Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 5,
characterised in that the aperture stop (B) is disposed on or near to the second mirror (S2).

12. Microlithography projection objective device according to claim 11,
characterised in that

the ratio of the distance between the first and third mirrors (S1S3) to the distance between the first and second mirrors (S1S2) is within the range

$$0.3 < \frac{S1S3}{S1S2} < 2$$

and the ratio of the distance between the second and third mirrors (S2S3) to the distance between the third and fourth mirrors (S3S4) is within the range

$$0.7 < \frac{S2S3}{S3S4} < 1.4$$

13. Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 12,
characterised in that

all the mirrors are aspherical.

14. Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 12,
characterised in that

a maximum of five mirrors are aspherical.

15. Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 14,

characterised in that

the second to sixth mirrors (S2-S6) are disposed in a concave-convex-concave-convex-concave sequence.

- 5 **16.** Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 15,
characterised in that
the imaging ratio of the first mirror (S1) is positive, preferably $0.5 < \beta < 1.5$.
- 10 **17.** Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 16,
characterised in that
the imaging ratio of the subsystem formed from the second (S2), third (S3) and fourth mirrors (S4) is negative and reducing and lies within the range $0.5 > \beta > -1.0$.
- 15 **18.** Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 17,
characterised in that
the rms wave front error of the system is maximum 0.07λ , preferably 0.03λ over the whole image field.
- 20 **19.** Microlithography projection objective device according to claim 18,
characterised in that
the image field is at least 1.0 mm wide.
- 25 **20.** Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 19,
characterised in that
it is telecentric on the image side.
- 30 **21.** Microlithography projection objective device according to claim 20,
characterised in that
it is telecentric on the object side.
- 35 **22.** Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 21,
characterised in that
the principal ray on the object runs to the optical axis.
- 23.** Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 22,
characterised in that
the mirror with the numerically smallest focal length lies behind the intermediate image.
- 40 **24.** Microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 23,
characterised in that
the distance between the third and sixth mirrors (S3S6) satisfies the following relationship

$$0.3 (\text{used diameter } S3 + \text{used diameter } S6) < S3S6.$$

- 45 **25.** Projection exposure apparatus with a microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 24,
characterised in that
a reflection mask is provided.
- 50 **26.** Projection exposure apparatus with a microlithography projection objective device according to any one of claims 1 to 24,
characterised in that
a transmission mask is provided.
- 55 **27.** Projection exposure apparatus according to one of claims 25 to 26,
characterised in that
the projection exposure apparatus comprises an illuminating device for illuminating a ring field.

28. Chip manufacturing process with a projection exposure apparatus according to claim 27.

Revendications

5
1. Objectif de projection pour microlithographie pour des longueurs d'onde inférieures à 100 nm comprenant un miroir de champ S1, un premier sous-système avec un second jusqu'à un quatrième miroir (S2 - S4) et un second sous-système avec un cinquième et un sixième miroir (S5, S6),
10 le miroir de champ générant avec une échelle de reproduction $\beta > 0$ une image virtuelle de l'objet (2), qui est reproduite par le premier sous-système constitué du second, du troisième et du quatrième miroir (S2, S3, S4) avec une échelle de reproduction $\beta < 0$ de façon réelle dans une image intermédiaire (Z), le second sous-système constitué du cinquième et du sixième miroir (S5, S6) reproduisant l'image intermédiaire dans l'image de système réelle dans le plan de tranche (4),

caractérisé en ce que

15 le miroir qui se rapproche le plus de l'objet à exposer, de préférence la tranche, est disposé de telle sorte que

- la distance de travail libre optique côté image correspond au moins au diamètre D utilisé de ce miroir le plus proche de la tranche et/ou
- la distance de travail libre optique côté image correspond au moins à la somme d'un tiers du diamètre D utilisé de ce miroir et d'une longueur qui se situe entre 20 mm et 30 mm et/ou
- la distance de travail libre optique côté image correspond à au moins 50 mm, de préférence 60 mm.

20

2. Objectif de projection pour microlithographie selon la revendication 1,

caractérisé en ce que

25 l'ouverture numérique (NA) côté image est supérieure ou égale à 0,15, la largeur côté image du champ de bague W est supérieure ou égale à 1,0 mm et **en ce que** les angles d'incidence (AOI) par rapport à la perpendiculaire à la surface de tous les faisceaux sur tous les miroirs sont limités par:

$$AOI \leq 23^\circ - 35^\circ(0,25 - NA) - \frac{0,2^\circ}{mm} \cdot (2\text{ mm} - W)$$

35 3. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 2,

caractérisé en ce que

l'ouverture numérique NA côté image est limitée dans la plage

$$0,15 \leq NA$$

et la largeur du champ de bague W sur la tranche est limitée dans la plage

$$1,0 \text{ mm} \leq W$$

et **en ce que** l'écart de crête à crête (A) de l'asphère par rapport à la sphère la mieux adaptée dans la plage utile sur tous les miroirs est limité par :

$$A \leq 19\mu\text{m} - 102\mu\text{m}(0,25 - NA) - 0,7\frac{\mu\text{m}}{\text{mm}}(2\text{mm} - W)$$

4. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 3,

caractérisé en ce que

les miroirs sont disposés de telle sorte que le guidage de lumière est sans obscurcissement.

EP 1 035 445 B1

5. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** les surfaces de miroir sont disposées sur des surfaces à symétrie de rotation par rapport à un axe principal (HA).

5 6. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** un obturateur (B) est disposé dans le trajet de lumière ou le trajet de faisceau entre le second miroir (S2) et le troisième miroir (S3).

10 7. Objectif de projection pour microlithographie selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** les distances entre le premier, le second et le troisième miroir sont choisies de telle sorte que l'obturateur est librement accessible.

15 8. Objectif de projection pour microlithographie selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** l'espacement du premier et du troisième miroir (S1S3) par rapport à l'espacement du premier et du second miroir (S1S2) se situe dans la plage suivante :

$$0,5 < \frac{S1S3}{S1S2} < 2$$

20

9. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** l'obturateur (B) est disposé dans le trajet de faisceau entre le second miroir (S2) et le troisième miroir (S3) sur le corps du premier miroir (S1).

25

10. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** l'ouverture numérique NA côté image est supérieure ou égale à 0,15 et la largeur du champ de bague sur la tranche W est supérieure ou égale à 1 mm et **en ce que** l'écart de crête à crête (A) de l'asphère par rapport à la sphère la mieux adaptée dans la plage utile sur tous les miroirs est limité par :

30

35

$$A \leq 12\mu\text{m} - 64\mu\text{m}(0,25 - NA) - 0,3 \frac{\mu\text{m}}{\text{mm}} (2\text{mm} - W)$$

11. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** l'obturateur (B) est disposé sur le second miroir (S2) ou à proximité de celui-ci.

40

12. Objectif de projection pour microlithographie selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** l'espacement du premier et du troisième miroir (S1S3) par rapport à l'espacement du premier et du second miroir (S1S2) se situe dans la plage suivante :

45

$$0,3 < \frac{S1S3}{S1S2} < 2$$

50

et l'espacement du second et du troisième miroir (S2S3) par rapport à l'espacement du troisième et du quatrième miroir (S3S4) se situe dans la plage suivante :

55

$$0,7 < \frac{S1S3}{S1S2} < 1,41$$

EP 1 035 445 B1

13. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 12,
caractérisé en ce que
tous les miroirs sont conçus asphériques.
- 5 14. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une quelconque des revendications 1 à 12,
caractérisé en ce que
au maximum cinq miroirs sont asphériques.
- 10 15. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 14,
caractérisé en ce que
les second jusqu'au sixième miroirs (S2 - S6) sont conçus dans l'ordre concave-convexe-concave-convexe-concave.
- 15 16. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 15,
caractérisé en ce que
l'échelle de reproduction du premier miroir (S1) est positive, de préférence $0,5 < \beta < 1,5$.
- 20 17. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une quelconque des revendications 1 à 16,
caractérisé en ce que
l'échelle de reproduction du sous-système formé du second miroir (S2), du troisième miroir (S3) et du quatrième
miroir (S4) est négative et réductrice et se situe dans la plage $-0,5 > \beta > -1,0$.
- 25 18. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 17,
caractérisé en ce que
l'erreur du front d'onde en rms du système est au maximum de $0,07 \lambda$, de préférence $0,03 \lambda$, sur l'ensemble du
champ d'image.
- 30 19. Objectif de projection pour microlithographie selon la revendication 18,
caractérisé en ce que
le champ d'image fait au moins 1,0 mm de largeur.
- 35 20. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 19,
caractérisé en ce que
il est télécentrique côté image.
- 40 21. Objectif de projection pour microlithographie selon la revendication 20 **caractérisé en ce que**
il est télécentrique côté objet.
- 45 22. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 21,
caractérisé en ce que
le faisceau principal sur l'objet va en direction de l'axe optique.
- 50 23. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 22,
caractérisé en ce que
le miroir présentant la focale la plus petite au niveau de la valeur est disposé après l'image intermédiaire.
- 55 24. Objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications 1 à 23,
caractérisé en ce que
l'espacement du troisième et du sixième miroir (S3S6) répond à la relation suivante :
- $$0,3 (\text{diamètre utilisé S3} + \text{diamètre utilisé S6}) < S3S6$$
25. Appareil d'exposition par projection un objectif de projection pour microlithographie selon l'une des revendications
1 à 24, **caractérisé en ce que**
un masque de réflexion est prévu.
26. Appareil d'exposition par projection comprenant un objectif de projection pour microlithographie selon l'une des

EP 1 035 445 B1

revendications 1 à 24, **caractérisé en ce que**
un masque de transmission est prévu.

5 **27.** Appareil d'exposition par projection selon l'une des revendications 25 à 26, **caractérisé en ce que**
l'appareil d'exposition par projection comprend un dispositif d'éclairage pour l'éclairage d'un champ de bague.

28. Procédé pour la fabrication de puce avec un appareil d'exposition par projection selon la revendication 27.

10

15

20

25

30

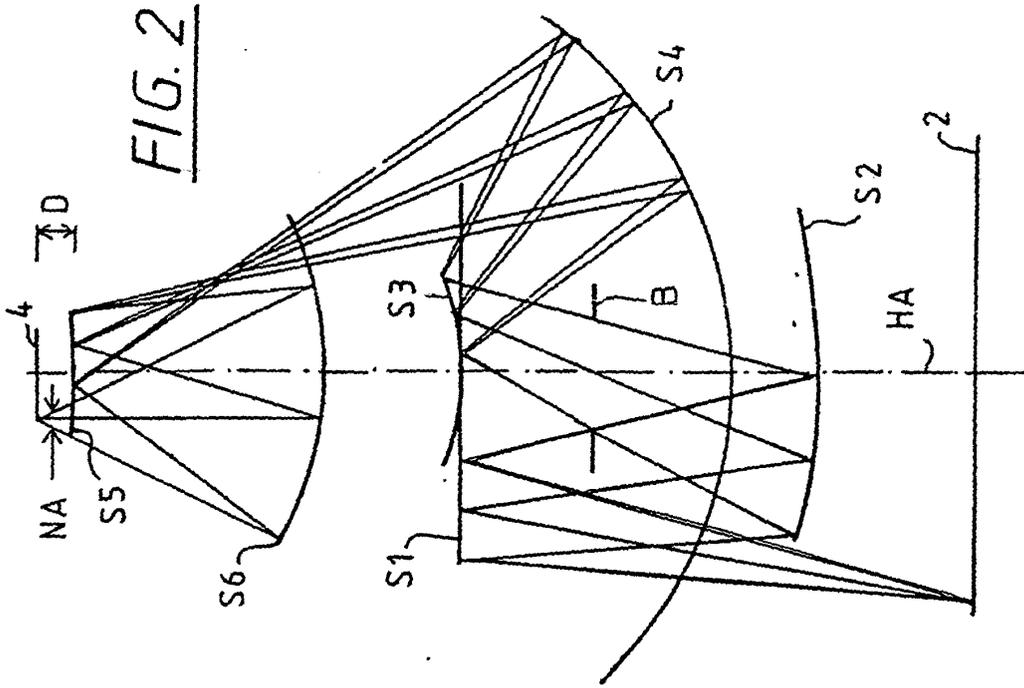
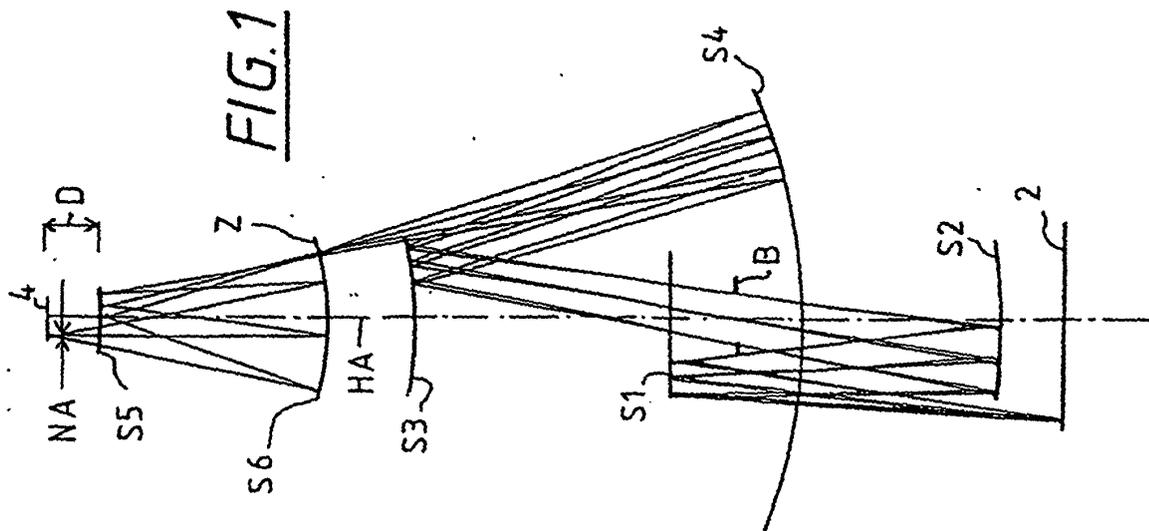
35

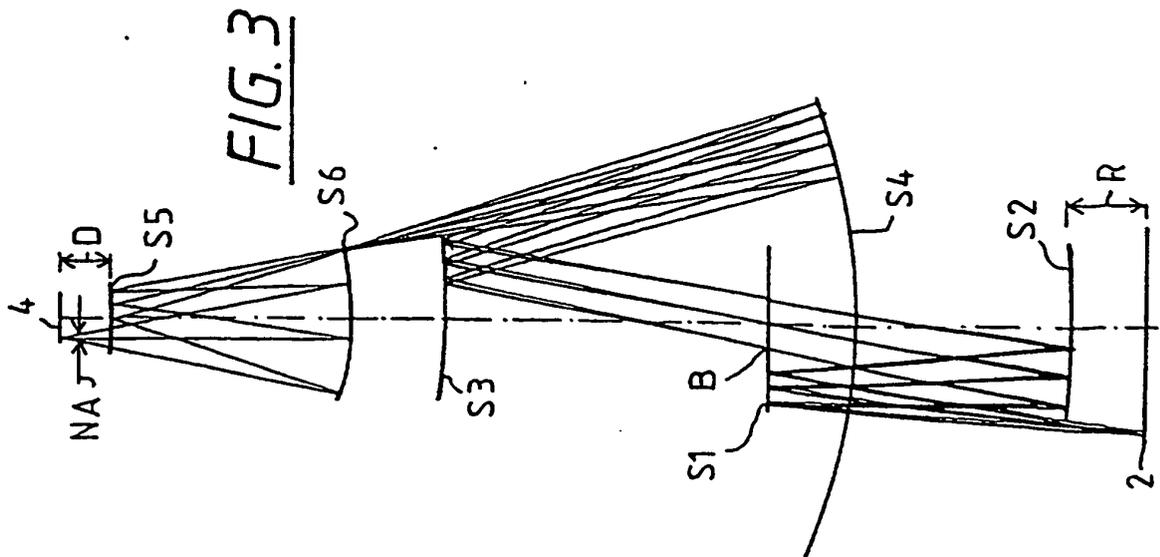
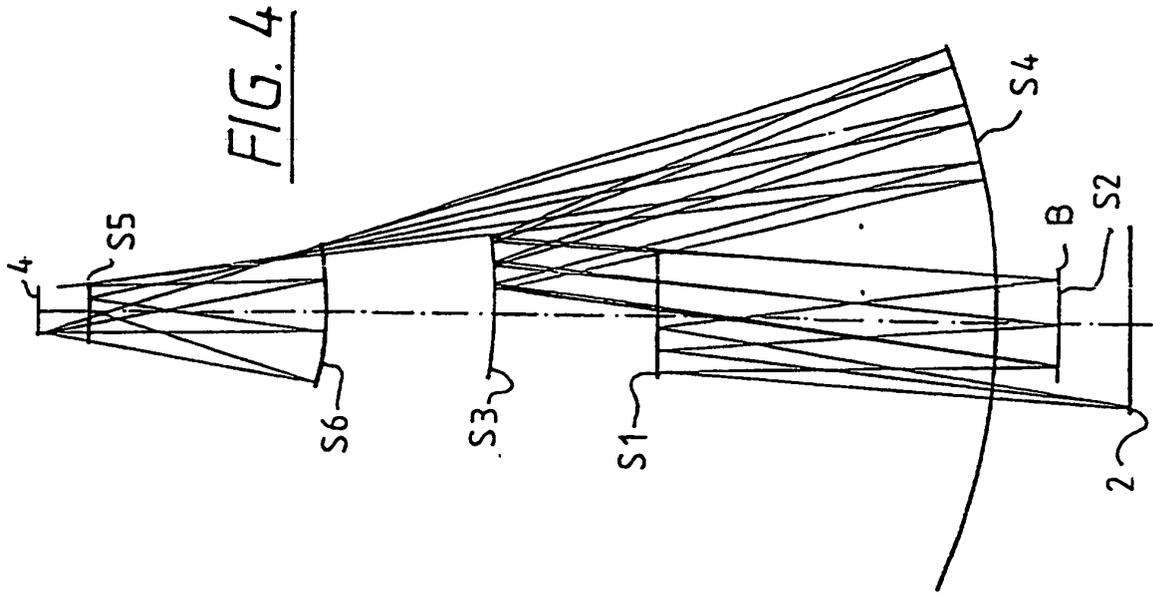
40

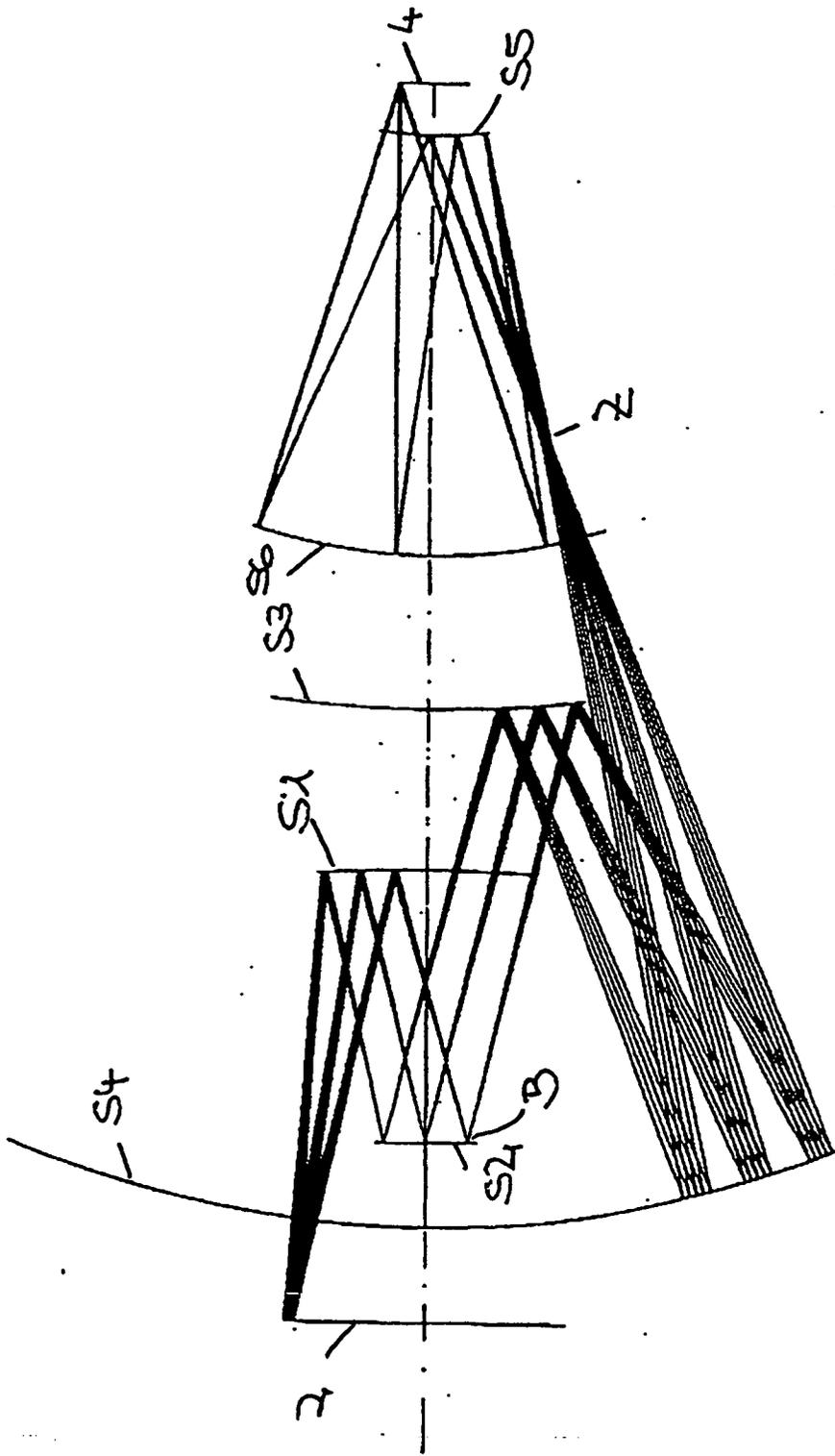
45

50

55







138.89 mm

Fig. 5

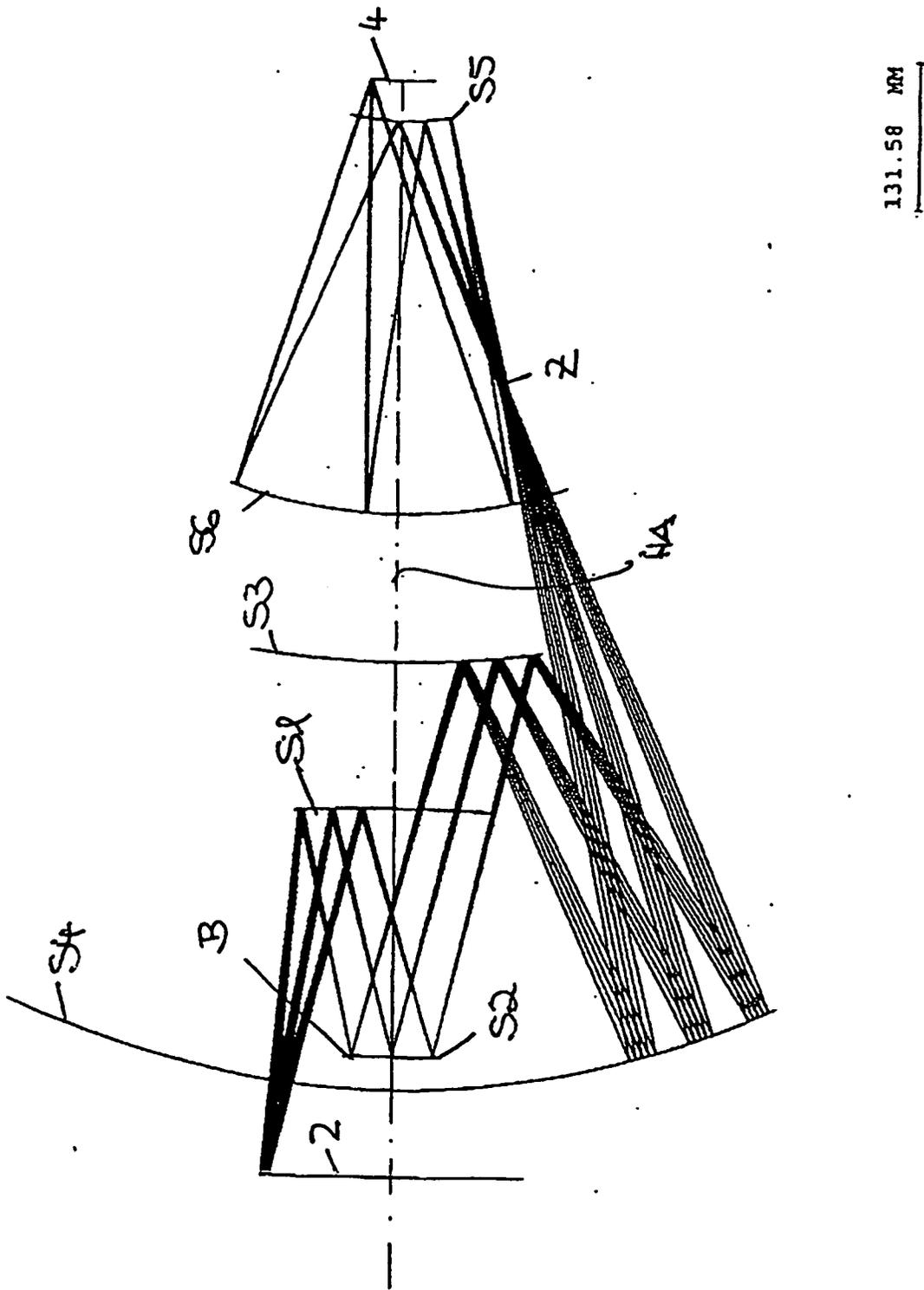


Fig. 6

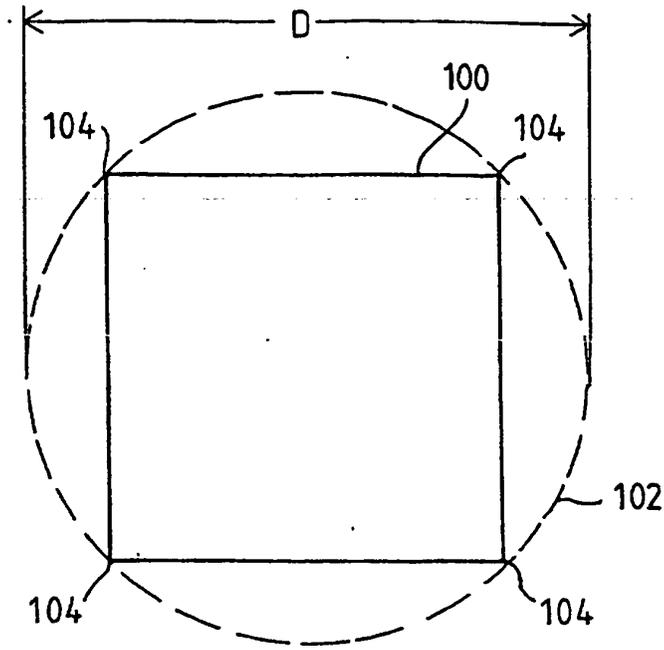


FIG. 7A

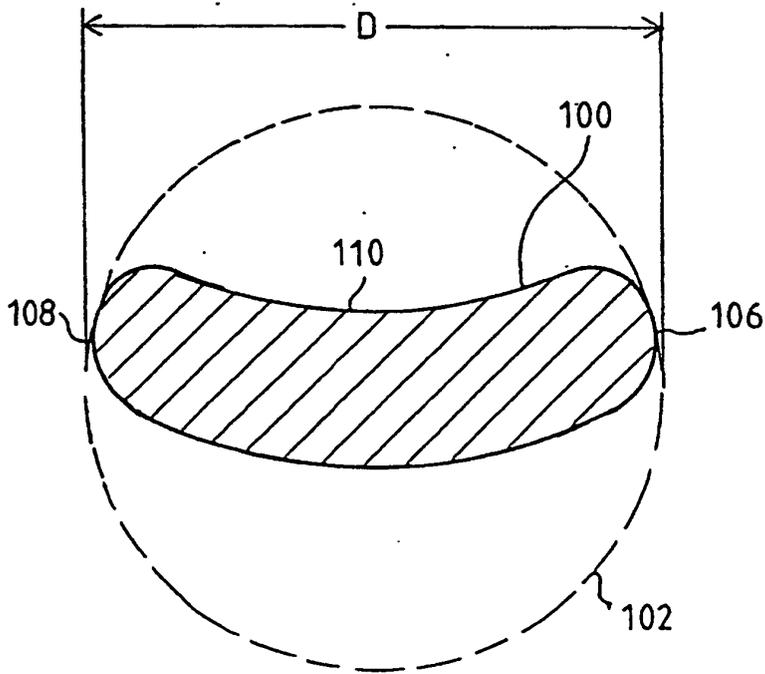


FIG. 7B